

INTERPRETASI SISTEM PANAS BUMI SUWAWA BERDASARKAN DATA GAYA BERAT

Dian Nur Rizkiani¹, Rustadi²

^{1,2}Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Universitas Lampung
Jl. Prof. Soemantri Brodjonegoro No. 01, Bandar Lampung 35145

Corresponding author: dianrizki12@gmail.com

Manuscript received: June 3, 2019; revised: July 3, 2019;

Approved: July 16, 2019; available online: July 26, 2019

Abstrak - Penelitian gaya berat pada panas bumi daerah Kecamatan Suwawa dilakukan dengan tujuan untuk menentukan struktur sesar dengan menggunakan teknik Second Vertical Derivative (SVD), membuat model bawah permukaan 2D dan model tentatif 3D menggunakan data anomali regional dan menginterpretasi sistem panas bumi Suwawa. Pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian meliputi : koreksi apungan, koreksi medan, anomali udara bebas, anomali Bouguer lengkap, analisis spektral, analisis SVD, pemodelan 2D dan pemodelan inversi 3D serta model tentatif untuk menginterpretasi sistem panas bumi Suwawa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daerah penelitian memiliki anomali Bouguer rendah dengan rentang nilai 75.8 hingga 79.5 mGal berada pada bagian Barat dan Tenggara, sedangkan anomali tinggi dengan rentang nilai 90.9 hingga 111.2 mGal berada pada bagian Utara dan Selatan, adanya korelasi sesar berdasarkan analisa SVD dengan sesar geologi yang menunjukkan keberadaan mata air panas Libungo, hasil inversi menunjukkan adanya densitas rendah ($\rho = 1,8 \text{ gr/cc}$) yang merupakan batuan aluvial dan densitas tinggi ($\rho = 2,9 \text{ gr/cc}$) yang merupakan batuan Lava Andesit Dasitan, pemodelan tentatif 3D menunjukkan keberadaan reservoir berada pada kedalaman 2 km dari permukaan tanah. Berdasarkan model yang dibuat, Cap Rock berada pada batuan Lava Andesit Dasitan dengan $\rho = 2,9 \text{ gr/cc}$ pada kedalaman 1200 m dan Heat Source berada pada kedalaman $> 2000 \text{ m}$.

Abstract - The research of gravity on Suwawa Sub-District geothermal is done for the purposes to determine fault structure using Second Vertical Derivative (SVD) technique, create a 2D subsurface model and 3D tentative model using regional anomaly data, and interpreting Suwawa geothermal system. Data processing is done in the research include: drift correction, terrain correction, free air correction, complete Bouguer anomaly, spectral analysis, SVD analysis, 2D modeling and 3D inversion modeling and tentative model. The research results showed that the research area has low Bouguer anomaly with a range of 75.8 to 79.5 mGal values in the West and Southeast, while high anomaly with a range of 90.9 to 111.2 mGal values in the Northern and Southern, there is correlation of fault based on SVD analysis with geological fault that indicate the presence of Libungo hot springs, the inversion results indicate the presence of low density ($\rho = 1.8 \text{ g/cc}$) which is an alluvial rocks and high density ($\rho = 2.9 \text{ g/cc}$) which is Andesite Lava rocks, 3D tentative modeling indicate the presence of reservoir is at a depth of 2 km from the ground surface. Based on the model created, Cap Rock is located on Andesite Lava rocks with $\rho = 2.9 \text{ g/cc}$ at a depth of 1200 m and Heat Source located at a depth of $> 2000 \text{ m}$.

Keywords : Gravity, Geothermal System, Tentative Model

How to cite this article:

Rizkiani, D.N. dan Rustadi. 2019. Interpretasi Sistem Panas Bumi Suwawa Berdasarkan Data Gaya Berat. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 5 (2) p.130-140. doi: 10.23960/jge.v5i2.28

1. PENDAHULUAN

Suatu sistem panas bumi biasanya berasosiasi dengan sistem vulkanik yang terbentuk sepanjang busur kepulauan

sebagai akibat pergerakan lempeng di permukaan bumi yang menyebabkan terjadinya gunung berapi. Sumber panas dalam suatu sistem panas bumi sangat penting, sehingga tidak hanya gunung api

aktif yang dapat dimanfaatkan, tetapi juga gunung api tua yang masih memiliki sumber panas yang cukup yang terletak di wilayah *Ring of Fire* dapat dimanfaatkan. Indonesia dengan letak yaitu daerah pertemuan 3 lempeng tektonik (lempeng Indo-Australia, Eurasia dan Pasifik) dan 1 lempeng tektonik kecil (lempeng Filipina) yang saling bergerak 1 sama lain dengan sangat lambat yaitu 0-20 cm per tahun.

Struktur geologi menjadi salah satu syarat utama dalam sistem panas bumi karena struktur geologi seperti sesar berguna sebagai sistem lolos air (*permeable*). Dalam suatu eksplorasi panas bumi, metode geofisika merupakan salah satu metode utama yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan suatu sistem panas bumi. Hal ini dikarenakan sebagian besar lapangan panas bumi berada pada daerah vulkanik dimana sebagian besar batuan penyusunnya adalah batuan beku dan metamorf.

Metode gravitasi atau gaya berat digunakan untuk mengetahui atau mengidentifikasi sistem panas bumi dan struktur geologi bawah permukaan bumi berdasarkan nilai densitas batuan. Dalam eksplorasi energi panas bumi, metode gaya berat dapat mendeteksi perbedaan densitas batuan di bawah permukaan yang membentuk suatu sistem panas bumi. Metode gaya berat juga dapat digunakan untuk membuat model struktur bawah permukaan yang akan digunakan sebagai acuan untuk melakukan interpretasi. Dengan melakukan interpretasi tersebut diharapkan dapat memberikan informasi dan gambaran yang lebih baik tentang kondisi daerah prospek panas bumi Suwawa.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Morfologi

Berdasarkan bentuk bentang alam, pola aliran sungai, tingkat erosi dan jenis batuan di daerah panas bumi Suwawa, morfologi pada daerah ini dapat

dikelompokkan menjadi 3 (tiga) satuan morfologi, yaitu satuan morfologi dataran rendah (SDR) yang tersebar di daerah-daerah sepanjang sungai Bone yang merupakan dataran graben hingga pinggir pantai selatan dengan ketinggian berkisar antara 0 - 150 m dpl, satuan morfologi vulkanik G. Balangga dan Pinogoe (SVBP) yang mempunyai ketinggian antara 150-650 m dpl, dan satuan morfologi vulkanik G. Mogi dan Lompotoo (SVML) yang mempunyai ketinggian antara 150-1400 m dpl (Van Bemmelen, 1949). Peta geologi daerah penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.

2.2. Stratigrafi

Urutan batuan di daerah panas bumi Suwawa dapat dibagi dalam 7 satuan batuan yang terdiri dari 4 (empat) batuan vulkanik, 2 (dua) batuan Plutonik (Granit-Diorit), 1 (satu) batuan sedimen dan 1 (satu) batuan endapan permukaan. Batuan-batuan vulkanik di daerah panas bumi Suwawa tersebut diperkirakan berasal dari satu titik pusat erupsi, yaitu Pinogoe - Balangga. Batuan sedimen pada daerah ini berupa gamping kristalin (kalkarenit), sedangkan endapan permukaan yang terdapat di daerah ini digolongkan ke dalam satuan aluvium (Qa). Susunan stratigrafi daerah penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2**.

2.3. Sistem Panas Bumi

Sistem panas bumi daerah Suwawa dibagi menjadi tiga sistem dilihat dari tipe fluida, pemunculan manifestasi, kontrol struktur, dan perkiraan sumber panas. Sistem panas bumi yang pertama pada daerah manifestasi Lombongo adalah kelompok Lombongo.

Sistem panas bumi yang kedua berada di daerah mata air panas Pangi yang disebut kelompok Pangi. Sistem panas bumi yang ketiga adalah sistem panas bumi kelompok Libungo yang terdapat di sekitar mata air panas Libungo.

3. TEORI DASAR

3.1. Metode Gaya Berat

Metode gaya berat adalah salah satu metode dalam geofisika yang dilakukan untuk menyelidiki keadaan bawah permukaan berdasarkan perbedaan rapat massa batuan dari daerah sekeliling. Prinsip metode ini berdasarkan anomali gaya berat yang muncul karena adanya variasi rapat masa batuan yang menggambarkan adanya struktur geologi di bawah permukaan bumi (Rosid, 2005).

3.2. Gaya Newton

Teori yang paling mendasar dalam metode gaya berat adalah hukum Newton tentang gaya tarik menarik antara benda dengan masa tertentu yang dipisahkan oleh jarak tertentu dinyatakan oleh persamaan:

$$\vec{F}(r) = G \frac{m_1 m_2}{R^2} \hat{r}$$

dimana $\vec{F}(r)$ = gaya tarik menarik (N), G = konstanta Gravitasi Universal ($6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg s}^{-2}$), m_1 , m_2 = massa benda 1 dan massa benda 2 (kg), R = jarak antara dua buah benda (m), dan \hat{r} = vector satuan (m).

3.3. Percepatan Gravitasi

Newton juga mendefinisikan hubungan antara gaya dan percepatan. Hukum II Newton tentang gerak menyatakan gaya sebanding dengan perkalian massa benda dengan percepatan yang dialami benda tersebut.

$$F = ma$$

dimana a = percepatan yang indentik dengan percepatan gravitasi g .

4. METODOLOGI PENELITIAN

Prosedur untuk melaksanakan penelitian dibagi menjadi dua bagian yaitu prosedur pengolahan data dimana dalam prosedur ini data diproses menggunakan *Ms. Excel* dengan koreksi-koreksi yang ada dalam gaya berat yaitu koreksi bacaan

alat, koreksi apungan, koreksi pasang surut, koreksi lintang, koreksi udara bebas, koreksi *Bougeur* dan koreksi medan sehingga didapatkan nilai anomali *Bougeur* lengkapnya, prosedur pemisahan dan pemodelan yaitu proses pemisahan anomali regional, anomali residual dan noise dari anomali *Bougeur* lengkap menggunakan analisis spektral dan *moving average* dan setelah diapatkan pemisahan, pemodelan bawah permukaan bisa dilakukan menggunakan anomali regional atau residual.

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Topografi Daerah Penelitian dan Anomali *Bougeur*

Daerah penelitian panas bumi Suwawa memiliki ketinggian 0 - 340 m dengan 2 manifestasi panas bumi yang dilalui titik pengukuran yaitu mata air panas Libungo dan mata air Lombongo. Sebaran titik pengukuran dan topografi daerah penelitian panas bumi Suwawa terlihat pada **Gambar 3**.

Anomali *Bouguer* lengkap didapatkan dari perhitungan data gaya berat lapangan yang telah dikonversi dalam satuan mGal kemudian direduksi melalui koreksi-koreksi gaya berat. Nilai anomali *Bouguer* berada pada rentang nilai antara 75.8 - 111.2 mGal dengan interval kontur 2 mGal, anomali rendah dengan rentang 75.8 - 79.5 berada pada bagian Barat dan Tenggara daerah penelitian sedangkan nilai anomali tinggi dengan rentang nilai 90.9 - 111.2 mGal berada pada bagian Utara dan Selatan. Peta anomali *Bouguer* dapat dilihat pada **Gambar 4**.

5.2. Analisis Spektrum

Yaitu suatu proses yang dilakukan untuk melakukan estimasi kedalaman suatu anomali gaya berat dan menentukan lebar jendela *filter* untuk digunakan dalam pemisahan anomali regional-residual pada daerah penelitian. Analisis spektrum pada penelitian ini dilakukan dengan metode

Transformasi Fourier pada 4 lintasan dengan jarak antar titik pengukuran adalah 100 m yang terlihat pada **Gambar 5, 6, 7, 8**. Pada **Gambar 5**, hubungan antara $Ln A$ dengan k didapatkan nilai *Cut off* yaitu batas zona regional dengan zona residual berada pada nilai 0.0037 sehingga dengan menggunakan persamaan $2*\pi$ dibagi dengan *Cut Off* yang dikali dengan spasi *grid* didapatkan lebar jendela yaitu sebesar 16,9. Pada **Gambar 6**, hubungan $Ln A$ dengan k menghasilkan nilai *Cut Off* yaitu sebesar 0.0024 dan dengan menggunakan persamaan $2*\pi$ dibagi dengan *Cut Off* yang dikali dengan spasi *grid* didapatkan lebar jendela yaitu sebesar 26.1. Pada **Gambar 7**, hubungan $Ln A$ dengan k menghasilkan nilai *Cut Off* yaitu 0.0040 dan didapatkan lebar jendela sebesar 15.7. Pada **Gambar 8**, hubungan $Ln A$ dengan k pada menghasilkan nilai *Cut Off* yaitu sebesar 0.0049 dan lebar jendela yaitu 12.8 sehingga didapatkan lebar jendela rata-rata yaitu 17 x 17 dengan spasi *grid* 100 m.

5.3. Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Dalam penelitian ini, teknik pemisahan regional dan residualnya dilakukan dengan metode *moving average window filter* yaitu merupakan suatu metode atau teknik pemisahan yang jika dianalisis dari spektrumnya akan menyerupai *low pass filter* sehingga *output* dari proses ini adalah frekuensi rendah dari anomali *Bouguer* yang akan merepresentasikan kedalaman yang lebih dalam (regional). Secara keseluruhan besarnya nilai anomali regional berkisar antara 71.8 - 111.1 mGal Berdasarkan *gradient* hubungan antara bilangan gelombang (k) dan energi gelombang ($Ln A$) pada zona regional, didapatkan kedalaman zona regional rata rata sebesar 800 m di bawah permukaan. Peta anomali regional dapat dilihat pada **Gambar 9**.

Sedangkan anomali residual didapatkan dari pengurangan nilai anomali *Bouguer* dengan anomali regionalnya. Kedalaman zona residual juga dapat

dihitung berdasarkan *gradient* hubungan antara bilangan gelombang (k) dan energi gelombang ($Ln A$) pada zona residual dan didapatkan kedalaman zona residual rata rata sebesar 200 m di bawah permukaan. Secara keseluruhan besarnya nilai anomali residual berkisar antara -8.1 - 6.1 mGal yang dapat dilihat pada **Gambar 10**.

5.4. Analisis *Second Vertical Derivative*

Analisis *derivative* bertujuan untuk mengetahui jenis patahan dan peta anomali SVD yang digunakan dalam penelitian ini adalah adalah SVD dengan *filter* Elkins (1951). Pada **Gambar 11**, nilai anomali SVD berada pada interval -0.2 - 0.3 mGal/m². Garis yang berwarna putih merupakan indikasi sesar berdasarkan analisis SVD sedangkan garis berwarna merah merupakan indikasi sesar berdasarkan peta geologi. Setelah *dioverlay* pada peta geologi, korelasi antara sesar berdasarkan analisis SVD dengan sesar geologi bahwa sesar SVD memiliki arah yang sejajar dengan sesar geologi.

5.5. Pemodelan 2D (*forward modelling*) dan Pemodelan Ke Belakang (*Inverse Modelling*)

Pemodelan 2D dilakukan dengan 2 lintasan yaitu lintasan A-B dan lintasan E-F yang terlihat pada **Gambar 12** dan **Gambar 13**. Stratigrafi pada lintasan A-B dari batuan termuda adalah batuan aluvial ($\rho = 1.8$ gr/cc), yang berada pada permukaan tanah dengan kedalaman 500 m. Batuan piroklastik berada di bawah lapisan batuan aluvial dengan $\rho = 2.4$ gr/cc dan dengan kedalaman 700 m dan ketebalan 200 m. Di bawah batuan piroklastik, terdapat batuan Lava Andesit Pinogo Muda dengan $\rho = 2.8$ gr/cc yang memiliki kedalaman 900 m dan ketebalan 200 m. Untuk batuan Diorit Bone terdapat di bawah batuan Lava Andesit Pinogo Muda yang mempunyai $\rho = 2.9$ gr/cc dengan kedalaman 1100 dan ketebalan 100 m. Di bawah batuan Diorit Bone, terdapat batuan Lava Andesit Dasitan dengan $\rho =$

2.9 gr/cc, kedalaman 1200 m dan ketebalan 100 m. Pada lapisan terakhir, terdapat basement dengan $\rho = 3.3$ gr/cc yang mempunyai kedalaman hingga 2 km dan ketebalan 800 m. Pada lintasan A-B, terdapat batuan intrusi yaitu batuan gamping yang merupakan batuan tertua dengan $\rho = 2.6$ gr/cc dan kedalaman 700 m. Batuan gamping muncul ke permukaan karena pada daerah ini sebelumnya diindikasikan telah terpengaruh gaya tektonik.

Stratigrafi pada lintasan E-F dari batuan termuda adalah batuan aluvial ($\rho = 1.8$ gr/cc), yang berada pada permukaan tanah dengan kedalaman 200 m. Batuan piroklastik berada di bawah lapisan batuan aluvial dengan $\rho = 2.4$ gr/cc mempunyai kedalaman 400 m dan ketebalan 200 m. Di bawah batuan piroklastik, terdapat batuan Diorit Bone dengan $\rho = 2.9$ gr/cc yang memiliki kedalaman 500 m dan ketebalan 100 m. Batuan Lava Andesit Dasitan berada di bawah batuan Diorit Bone dengan $\rho = 2.9$ gr/cc memiliki kedalaman 800 dan ketebalan 300 m. Pada lapisan terakhir, terdapat basemen dengan $\rho = 3.3$ gr/cc hingga kedalaman 2 km dan ketebalan 1200 m.

Hasil pemodelan ke belakang berdasarkan lintasan A-B dan lintasan E-F dapat dilihat pada **Gambar 14**. Berdasarkan **Gambar 14**, pemodelan *inversi* mendekati model bawah permukaan. Pemodelan ke belakang anomali regional pada penelitian menunjukkan hasil yang sama pada pemodelan 2D *forward modelling* dengan densitas antara 1.9 gr/cc – 3.3 gr/cc.

5.6. Interpretasi Sistem Panas Bumi

Berdasarkan pemodelan 2D, didapatkan reservoir berada pada kedalaman 2 km dengan 1 mata air panas yang muncul di permukaan yaitu mata air panas Libungo. Berdasarkan **Gambar 15**, model tentatif daerah Suwawa lintasan A-B merupakan model tentatif atau model sementara yang menggambarkan bagaimana keadaan bawah permukaan dan

sistem panas bumi pada lintasan tersebut berdasarkan analisis data gaya berat dimana terlihat urutan batuan stratigrafi dari yang paling muda yaitu batuan aluvial dengan ketebalan 500 m dan batuan yang tertua yaitu batuan gamping dengan ketebalan 700 m. Reservoir sebagai pengontrol keberadaan mata air panas Lombong berada pada kedalaman 2 km. *Heat Source* berada pada kedalaman > 2000 m, *Cap Rock* terbentuk dari batuan Lava Andesit Dasitan dengan ketebalan 100 m berada pada kedalaman 1200 m.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Daerah penelitian memiliki nilai anomali *Bouguer* 75.8 hingga 111.2 mGal. Anomali rendah dengan rentang nilai 75.8 hingga 79.5 mGal berada pada bagian Barat dan Tenggara daerah penelitian, sedangkan anomali tinggi dengan rentang nilai 90.9 hingga 111.2 mGal berada pada bagian Utara dan Selatan.
2. Adanya korelasi sesar berdasarkan analisa *SVD* dengan sesar geologi yang menunjukkan keberadaan mata air panas Libungo
3. Daerah penelitian memiliki stratigrafi dari batuan termuda yaitu batuan aluvial dengan $\rho = 1.8$ gr/cc hingga batuan tertua yaitu batuan gamping yang muncul di permukaan karena terpengaruh gaya tektonik dengan $\rho = 2.6$ gr/cc.
4. *Heat Source* berada pada kedalaman > 2000 m, *Cap Rock* terbentuk dari batuan Lava Andesit Dasitan dengan ketebalan 100 m berada pada kedalaman 1200 m dan sesar Gorontalo mengontrol sirkulasi air yang masuk ke dalam reservoir.

6.2. Saran

Penelitian lanjutan gaya berat difokuskan pada area yang lebih luas

khususnya pada bagian Tenggara karena pola patahan pada bagian Tenggara memungkinkan terdapatnya prospek panas bumi lainnya serta bukaan sesar yang mengindikasikan mata air panas Pangi.

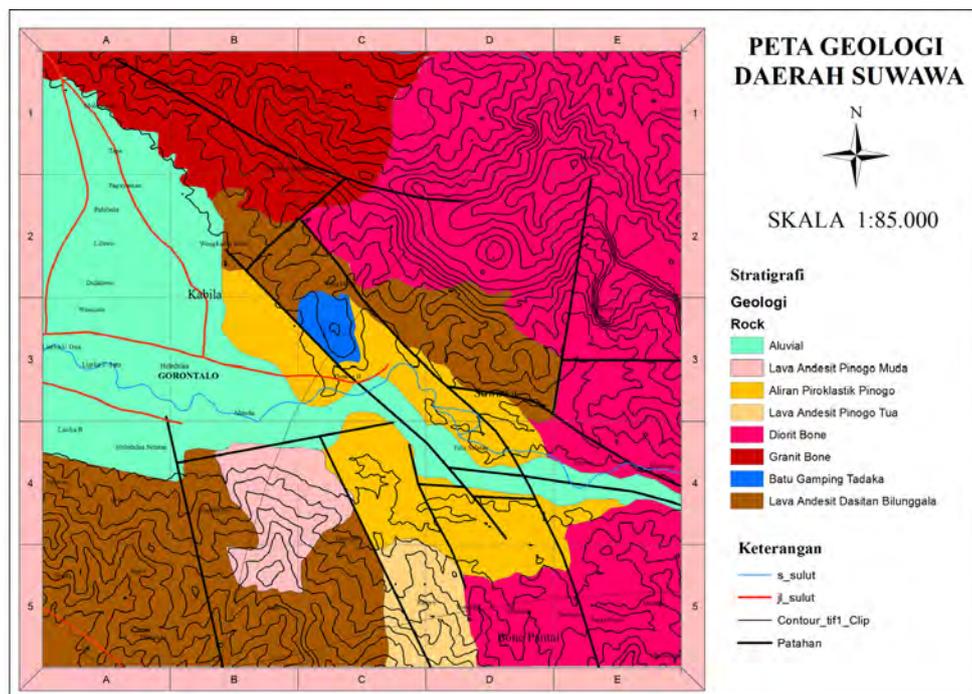
DAFTAR PUSTAKA

Bammelen, van R.W., 1949. *The Geology of Indonesia*. Vol. I A. The Hague, Netherlands

Dickson, Mary H., dan Mario, Fanelli., 2004. *What is Geothermal Energy?*, www.iga.igg.cnr.it, diakses pada 26 September 2014

Grandis, H., 2009. *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*, HAGI, Jakarta.

Rosid, S., 2005. *Gravity Method in Exploration Geophysics*, Universitas Indonesia, Depok.



Gambar 1. Peta geologi daerah panas bumi daerah Suwawa

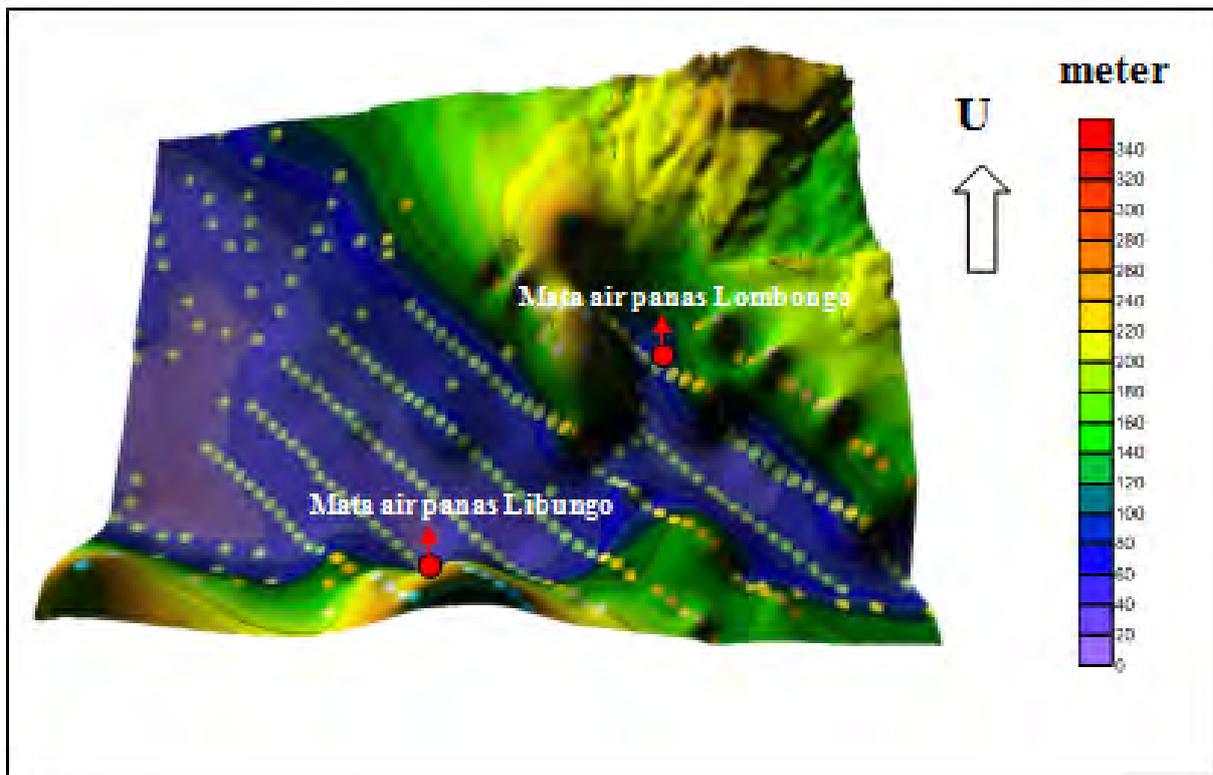
KORELASI SATUAN BATUAN

UMUR	KALA	BATUAN TEROBOSAN	BATUAN GUNUNG API	BATUAN GAMPING	BATUAN SEDIMEN ENDAPAN PERMUKAAN	
KUAR TER	HOLOSEN				Qal	
	PLEISTOSEN		Tapu3			
TERSIER	PLIOSEN		Tapu2			
			Tapu1			
	MIOSEN	ATAS	Tmgb, Tmdb			
		TENGAH		Tmbu		
BAWAH				TmB		

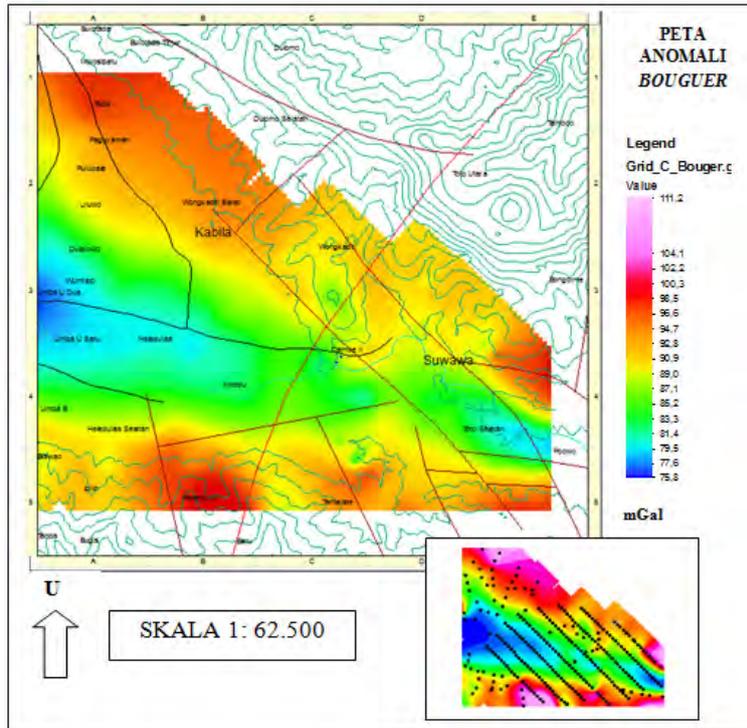
KETERANGAN

- Qal Aluvial
- Tapu3 Lava andesit Pinogo Muda
- Tapu2 Aliran Piroklastik Pinogo
- Tapu1 Lava andesit Pinogo Tua
- Tmdb Diorit Bone
- Tmgb Granit Bone
- Tmbu Lava andesit dasitan Bilungala
- TmB Batu gamping Tadaka

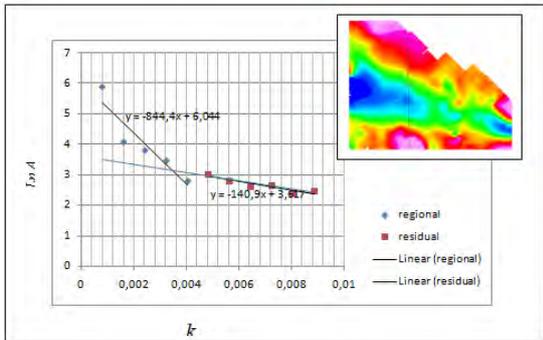
Gambar 2. Susunan stratigrafi daerah panas bumi Suwawa



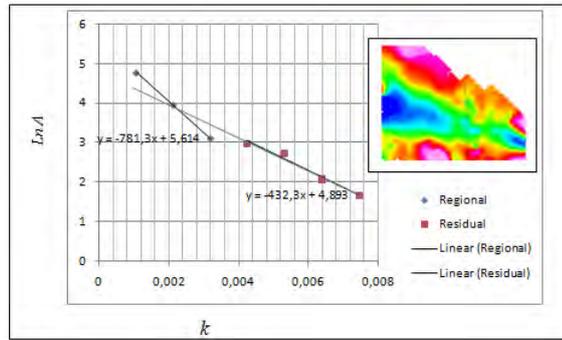
Gambar 3. Sebaran titik dan topografi daerah penelitian



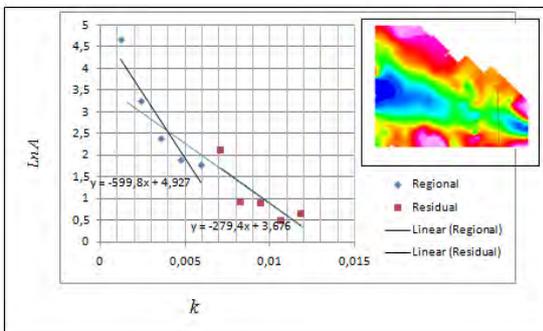
Gambar 4. Peta anomali Bouguer overlay peta geologi



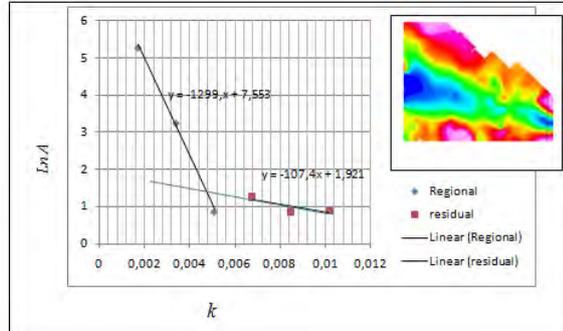
Gambar 5. Grafik spektrum line 1



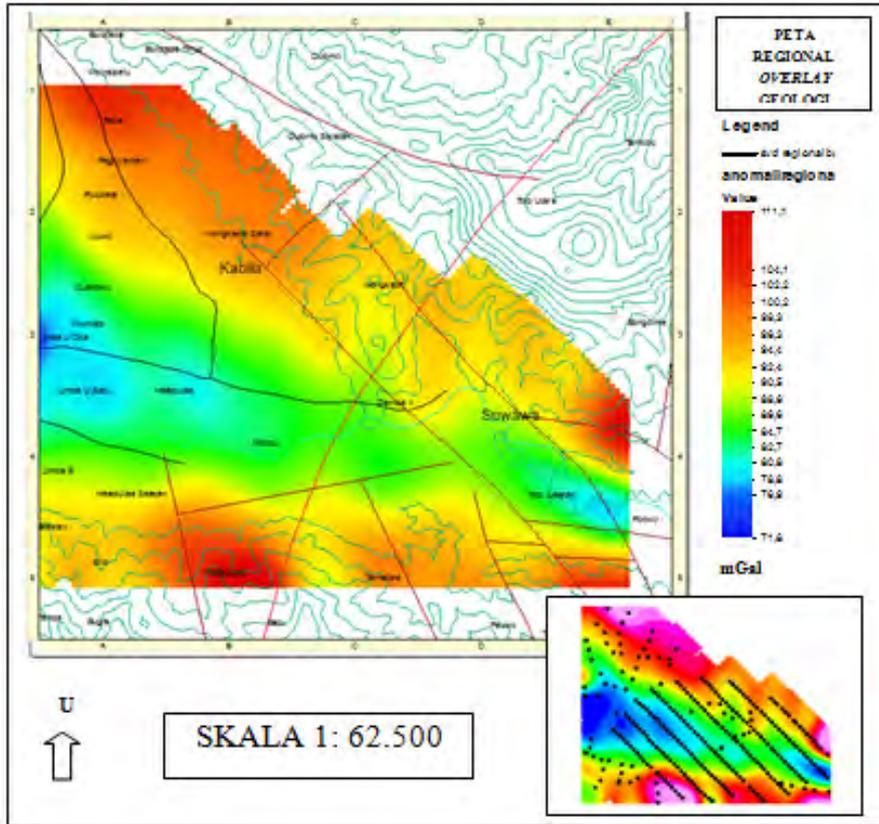
Gambar 6. Grafik spektrum line 2



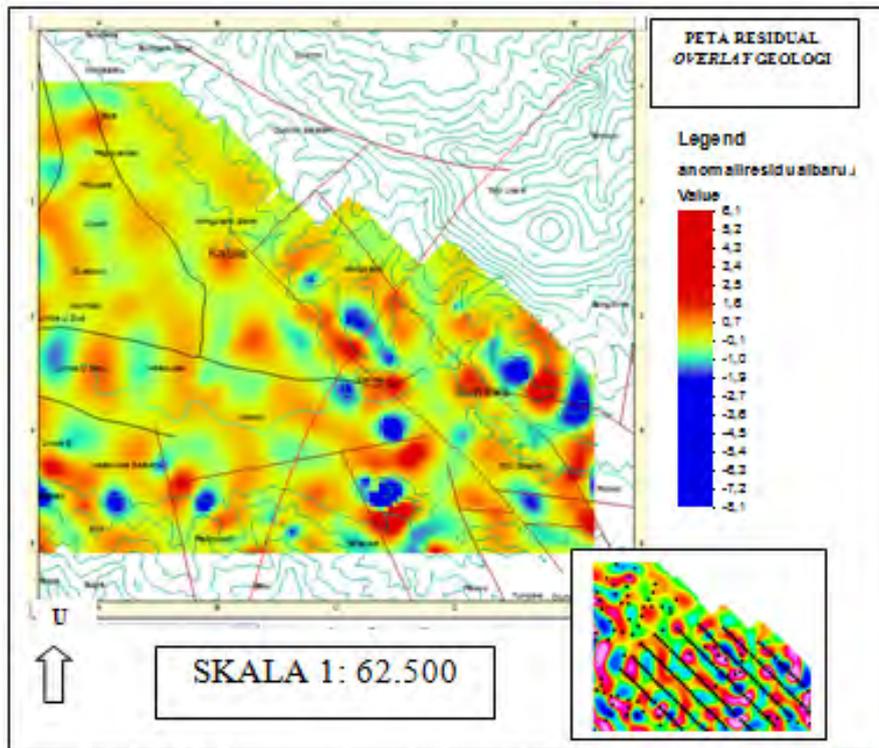
Gambar 7. Grafik spektrum line 3



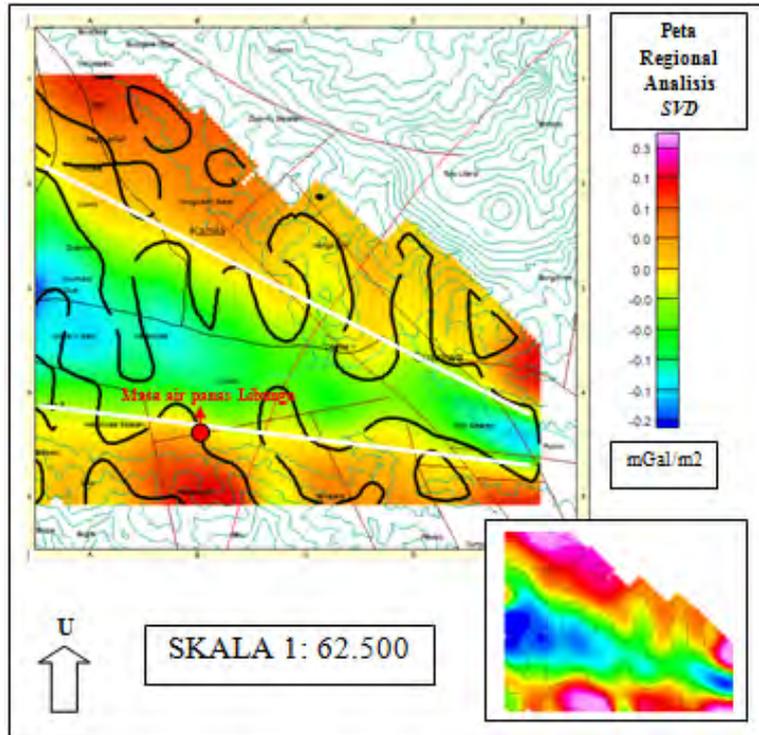
Gambar 8. Grafik spektrum line 4



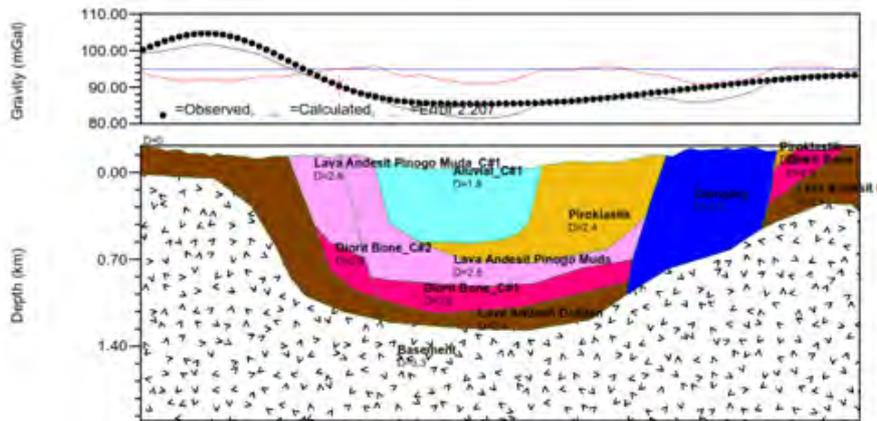
Gambar 9. Peta anomali regional overlay peta geologi



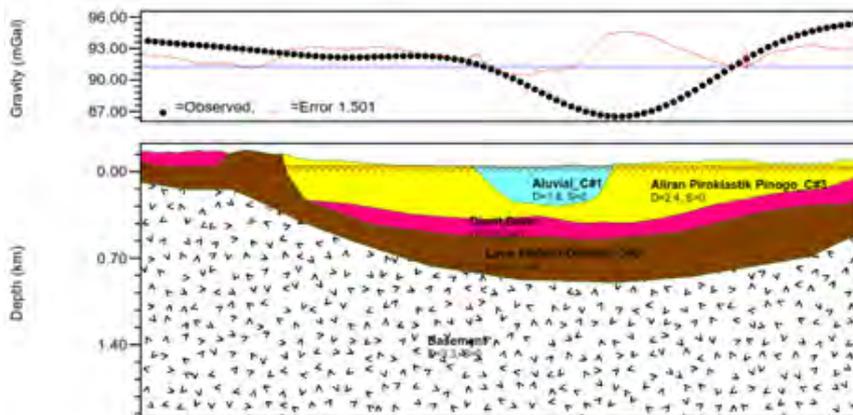
Gambar 10. Peta anomali residual *overlay* peta geologi



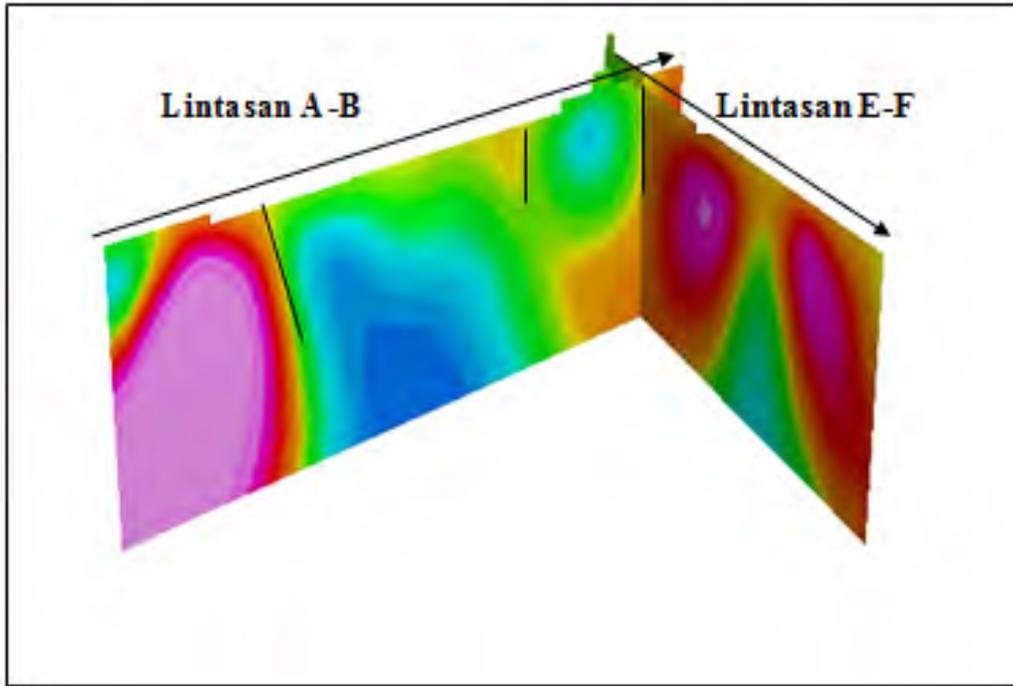
Gambar 11. Perkiraan patahan pada peta kontur SVD filter Elkins (1951)



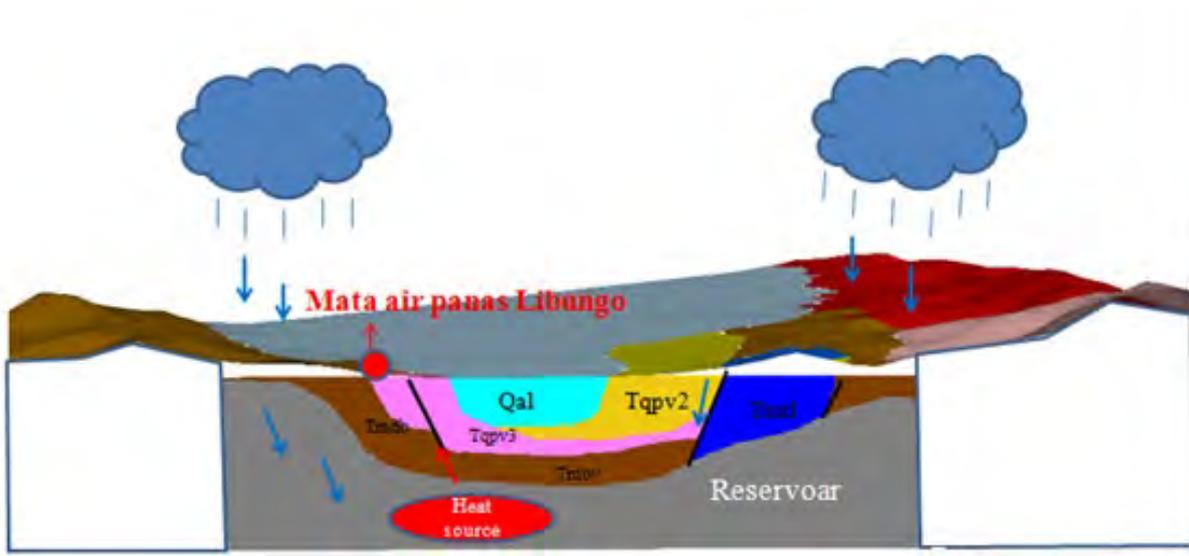
Gambar 12. Pemodelan lintasan A-B



Gambar 13. Pemodelan lintasan E-F



Gambar 14. Pemodelan ke belakang berdasarkan lintasan A-B dan lintasan E-F



Gambar 15. Model tentatif lintasan A-B